

Relaciones ambientales, pesqueras y bentónicas en el campo de volcanes de fango del margen español del Golfo de Cádiz.

Environmental, fishing and benthic linkage in the mud volcano field of the Spanish margin of the Gulf of Cádiz

E. González-García (1), J.L. Rueda (2), J. Urra (1), N. López-González (2), D. Palomino (2), L.M. Fernández-Salas (3), J.T. Vázquez (2), G. Bruque (4), Farias, C. (3), R. Sánchez (3) & V. Díaz del Río (2)

- (1) Facultad de Ciencias, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos s/n, 29071, Málaga (España). E-mail: melogonzalez1@yahoo.es
- (2) Centro Oceanográfico de Málaga, Instituto Español de Oceanografía, Puerto Pesquero s/n, ES-29640 Fuengirola,
- (3) Centro Oceanográfico de Cádiz, Instituto Español de Oceanografía, Puerto Pesquero s/n, Muelle de Levante, ES-11006 Cádiz.
- (4) Centro Oceanográfico de Madrid, Instituto Español de Oceanografía, C/Corazón de María nº 8, ES-28020 Madrid.

Abstract: The Gulf of Cadiz is located in the boundary of two lithospheric plates, this tectonic activity promote fluid rich hydrocarbon emissions from subsurface reservoirs and the formation of several mud volcanoes. The seabed and sedimentological heterogeneity, the complex oceanographic circulation, and the low fishing activity in certain areas may promote high biodiversity and complex habitats (habitat 1170 and 1180, Natura 2000). Environmental variables (fishing activity, substrate types, near bottom currents) and fauna collected with beam-trawl have been compared for several mud volcanoes and adjacent bottoms in order to understand the spatial distribution of both habitats and environmental/anthropogenic variables. The faunistic samples yielded high abundances, biomass and species richness in Gazul, Pipoca and Chica but low ones in Anastasya. In relation to environmental variables and fisheries activity, there is a strong correlation with the substrate type, depth, salinity and near-bottom current as primary variables influencing the distribution of habitats of different mud volcanoes. In this context, high species richness, abundance and biomass was found in areas with authigenic carbonates, coarse sediments, high near-bottom current speed, low salinities and low fishing activity.

Key words: Habitats, sediment, mud volcanoes, near-bottom currents, fisheries

1. INTRODUCCIÓN

El Golfo de Cádiz (GdC), localizado entre SW de la Península Ibérica y el NW de África, presenta un carácter Atlántico pero altamente influenciado por la dinámica oceanográfica del intercambio de masas de agua entre el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico. Por otro lado, los procesos diapíricos que, junto a la actividad tectónica, facilitan la migración de gas a lo largo de fallas desde almacenes en el subsuelo y promueve la formación de los volcanes de fango (VF) han sido descritos en el GdC (Medialdea *et al.*, 2004; Fernández-Puga *et al.*, 2007). Dichos VF pueden contener depósitos de naturaleza carbonatada (carbonatos autigénicos, chimeneas, enlosados, etc.) y que junto con otras características geomorfológicas del fondo marino (presencia de canales o dorsales diapíricos) provocan un aumento de la geodiversidad, y por tanto de la biodiversidad

con la presencia de diferentes hábitats protegidos por la Directiva Hábitat (1170 y 1180), lo cual justificó la declaración de esta zona como Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) (Díaz del Río *et al.*, 2014).

La mayor parte de los caladeros de especies comerciales como la cigala (*Nephrops norvegicus*) o, en menor medida, la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*) se localizan dentro de dicho LIC y el modo de pesca de estas especies (pesquerías de arrastre de fondo) es poco selectivo, presentando altas tasas de capturas accidentales y causando graves daños sobre los diferentes hábitats, provocando un cambio en la estructura del ecosistema y, con ello, una pérdida de la biodiversidad como en otras zonas del mundo (Kaiser *et al.*, 2002).

La finalidad de este estudio es caracterizar los hábitats y comunidades presentes en estructuras ligadas a emisiones de fluidos del campo somero de

VF del margen español del GdC (Albolote, Gazul, Anastasya, Tarsis, Pipoca y Chica). Además, se ha estudiado la relación entre las características de las comunidades bentónicas con las de las masas de agua (hidrodinamismo, Tª, salinidad), los tipos de sustrato y la distribución espacial del esfuerzo pesquero de la flota de arrastre para el año 2011, con el objetivo de analizar y comprender la distribución espacial de dichos hábitats. Con este estudio se favorece además la información basal para un Plan de Gestión del LIC y, en consecuencia, del mantenimiento y conservación de sus valores naturales.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio se ha centrado en 4 VF (Gazul, Anastasya, Pipoca y Tarsis) y 2 complejos diapiro / volcán de fango (Albolote y Chica), localizados en el talud superior y medio del margen español del GdC, entre los 350 y los 700 m de profundidad y en una zona próxima a la dorsal diapírica del Guadalquivir. Para la caracterización de los hábitats y sus comunidades se han recolectado 29 muestras con un beam trawl con 2m de apertura horizontal y 0,6 m de apertura vertical, dotado de una red de 10 mm (15 minutos de arrastre a 2,5 nudos, promedio recorrido de 1200 m) en las campañas INDEMARES-CHICA 0610 y 0211. Se identificaron las especies hasta el nivel taxonómico más bajo, anotándose su abundancia y biomasa, que posteriormente se estandarizaron a un área de 1000 m² para poder realizar comparaciones entre las diferentes zonas muestreadas. Se calcularon la riqueza específica, la abundancia, la biomasa, el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') y el índice de equitatividad (J) mediante el software PRIMER. Adicionalmente, se realizaron mediciones de variables ambientales de la columna de agua (temperatura, salinidad, oxígeno, velocidad y dirección de la corriente cercana al fondo) y del sedimento (tamaño de grano, % materia orgánica, % carbonatos, presencia de carbonatos autígenicos) para establecer sus posibles relaciones con los hábitats y las comunidades bentónicas. El efecto de la actividad pesquera se ha analizado a partir de los datos de posicionamiento de buques pesqueros (VMS, *Vessel Monitoring System*) del año 2011, facilitados por la Secretaría General del Mar, los cuales fueron procesados por el software R mediante el paquete *VMStools* obteniéndose una estimación de la actividad pesquera (calculada en horas anuales) en un área dividida en mallas de 0,25 km² que posteriormente se integraron en el software *ArcGIS desktop* permitiendo la obtención de los datos georreferenciados en las zonas muestreadas. Se realizó finalmente un Análisis Canónico de Correspondencia (CCA) con el objetivo de estudiar las relaciones entre todas las variables, previa

eliminación de aquellas variables que mostraron una alta correlación.

3. RESULTADOS

Se han capturado 325 especies, pertenecientes a 11 filos, dominando los poríferos con 56 especies (75,14% de biomasa), seguido de los cnidarios con 52 especies (8,46% de biomasa). Considerando los datos de abundancia, destacaron los cnidarios (57,61%) y los equinodermos (21%). La riqueza específica presentó valores bajos en Anastasya y altos en Pipoca, Gazul y Chica, mostrando en los dos últimos valores mayores en los edificios ligados a la emisión que en sus zonas adyacentes. La biomasa fue alta en Gazul y Pipoca, mientras que fue muy baja en el resto de los volcanes tanto en su zona adyacente como en el edificio ligado a la emisión. El índice de Shannon-Wiener y la equirepartición mostraron patrones similares con valores más altos en los edificios que en sus zonas adyacentes, y con mínimos en Tarsis.

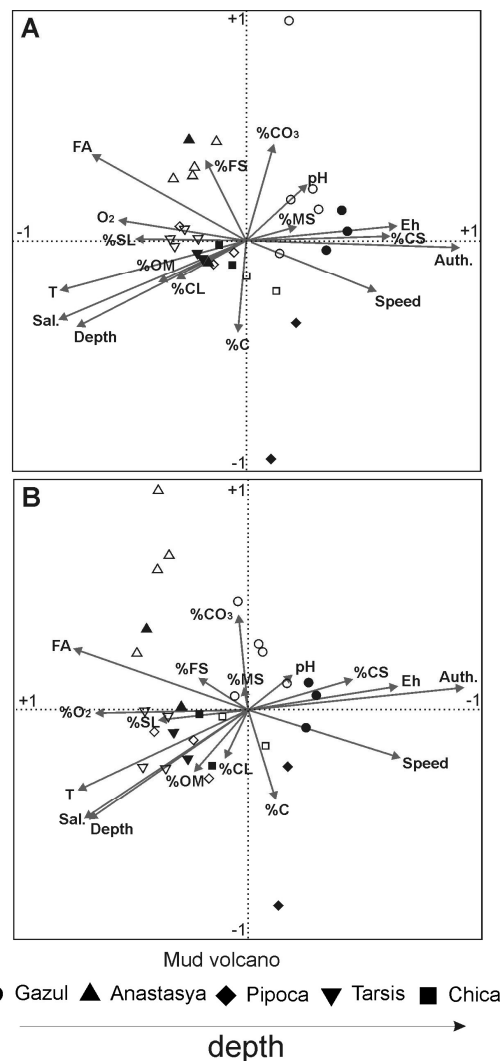


Fig. 1. Análisis Canónico de Correspondencias (CCA) de las variables ambientales con la abundancia (A) y biomasa (B) de las especies en las zonas de emisión de fluidos (símbolo negro) y zonas adyacentes (símbolo blanco).

El CCA usando la abundancia de especies mostró una alta correlación de la presencia de carbonatos autigénicos (Auth) ($F=2,81$; $p<0,005$), la profundidad (Depth) ($F=1,83$; $p<0,005$) y la salinidad (Sal) ($F=1,74$; $p<0,005$) con la fauna de las diferentes zonas (Fig. 1A). Usando la biomasa (Fig. 1B), se observa una fuerte correlación de los carbonatos autigénicos ($F=2,71$; $p<0,005$), la velocidad de la corriente de fondo (speed) ($F=1,70$; $p<0,005$) y la salinidad ($F=1,66$; $p<0,005$). En Gazul, los carbonatos autigénicos, el alto potencial red-ox del sedimento (Eh), el alto contenido de arena gruesa (%CS) y de carbonatos (%CO₃) y las fuertes corrientes (speed) junto con una baja actividad pesquera representan variables influyentes en la distribución de la fauna, que muestra una alta riqueza específica y biomasa (Fig. 1, 2). En esta zona las especies dominantes fueron *Actinauge richardi* o *Flabellum chunii* en áreas adyacentes con arenas gruesas, mientras que en el VF dominan las de sustrato duro como *Madrepora oculata* o *Petrossia cf crassa*.

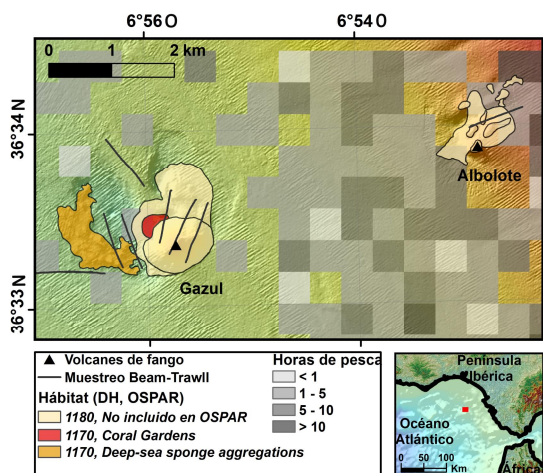


Fig. 2. Distribución espacial del esfuerzo pesquero (media anual de horas de pesca) para el año 2011 (tamaño malla de 0,25km²), muestreos de beam trawl y principales hábitats en Gazul (tomado de Díaz-del-Río et al., 2014).

En el área formada por los volcanes de fango Anastasya, Tarsis y Pipoca es donde se localizan dos importantes caladeros de *N. norvergicus* (Área del Laberinto y Playa Fuera de Morunos) (Ramos et al., 1996). Esta zona destaca por el importante incremento del esfuerzo pesquero (FA), sobretudo en Anastasya, representando una zona situada a mayor profundidad (depth) con baja presencia de carbonatos autigénicos, pero con sedimentos que contiene mayores porcentajes de arena fina (%FS), arcilla (%CL) y (%SL), y masas de agua con alta temperatura (T) y salinidad (sal) (Fig 1., 3). Tanto en Tarsis como en Pipoca se detectó un menor esfuerzo pesquero que en Anastasya, junto con valores altos de abundancia, siendo las especies dominantes los pennatuláceos como *Kophobelemnion stelliferum* o *Funiculina quadrangularis*, entre otras. A diferencia

de lo que ocurre en el VF de Tarsis donde las especies dominantes siguen siendo pennatuláceos, en la zona del VF Pipoca se detectan especies propias de sustratos duros como *Acanthogorgia hirsuta* y *Asconema setubalense*, entre otras, lo cual hace que las muestras del VF Pipoca se sitúen cercanas a las de Gazul en el CCA (Fig. 1). El volcán Anastasya presenta, con respecto a sus volcanes vecinos, valores muy bajos de abundancia y biomasa, junto a un elevado esfuerzo pesquero (420 horas estimadas de pesca efectiva) (Fig. 3). En la zona se capturaron especies de interés comercial como *P. longirostris* o *N. norvergicus*, además de una alta abundancia de poliquetos frenulados que viven en zonas con emisiones activas de fluidos.

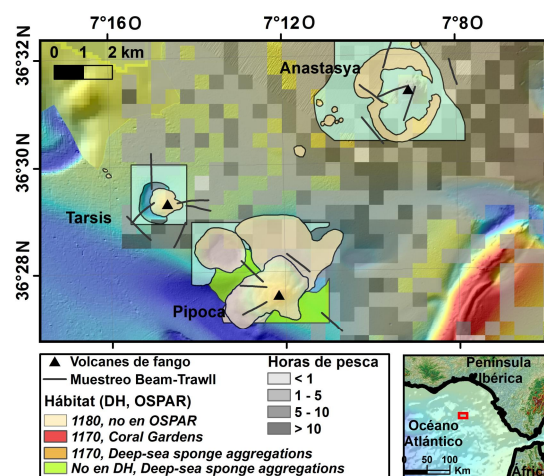


Fig. 3. Distribución espacial del esfuerzo pesquero (media anual de horas de pesca) para el año 2011 (tamaño malla de 0,25km²), muestreos de beam trawl y principales hábitats en el área de Anastasya, Tarsis y Pipoca (tomado de Díaz-del-Río et al., 2014).

Por último, en el complejo Chica, la actividad pesquera es prácticamente nula, con valores altos de abundancia y la presencia de especies propias de sustrato duro como diversas especies de gorgonias (*A. hirsuta*, *Callogorgia verticillata*) o diversas especies de esponjas. No obstante, al norte de la zona adyacente, la actividad pesquera aumenta considerablemente (200 horas de pesca efectiva estimadas en su área adyacente).

4. DISCUSIÓN

En este estudio se han podido identificar diferentes hábitats y comunidades presentes en edificios formados por emisiones de fluidos y fondos adyacentes en el margen español del GdC en relación a la importante actividad pesquera y la heterogeneidad ambiental de la zona. Los VF y los complejos diapiro/VF presentan grandes diferencias dependiendo de su estado (latente o activo), lo cual les hace generar una gran variedad de hábitats, que son algo similares a los registrados en los volcanes de fango del margen marroquí (Cunha et al., 2013). El amplio rango batimétrico del campo somero (entre

los 350 y 730 m de profundidad) es un factor diferenciador a nivel espacial que influyen en las especies presentes y en su abundancia (Carney, 2005). Otros componentes como son la composición sedimentaria, la presencia de carbonatos autigénicos o el hidrodinamismo y las características de las masas de agua son elementos influyentes en la biodiversidad de los diferentes edificios ligados a la emisión. Así por ejemplo, en Gazul se han detectado altos valores de biomasa y riqueza específica, junto a valores intermedios de abundancia. La menor profundidad, la baja influencia de la corriente cálida y salina mediterránea y el mayor hidrodinamismo de esta zona favorecen el afloramiento de carbonatos autigénicos (chimeneas, enlosados) donde se asientan diferentes especies sésiles y suspensívoras (corales de aguas frías, grandes esponjas, etc.) que aumentan la complejidad del hábitat y, por tanto, su biodiversidad. Con todo lo descrito anteriormente y gracias a la baja actividad pesquera presente en esta zona, este volcán debería contemplar una restricción pesquera total en el futuro Plan de Gestión del LIC.

Al igual que ocurre en Gazul, la débil actividad pesquera localizada en ciertas áreas de Pipoca y Chica junto con la intensa corriente existente sobre el fondo, hacen que emerjan diferentes tipos de sustratos duros que son colonizados por especies sésiles (*A. hirsuta*, *C. verticillata*, etc.). La abundancia en estos volcanes es menor que en Gazul ya que la presencia en sus proximidades de fondos arenosos y/o fangosos (presencia de facies de pennatuláceos) son idóneos para el asentamiento de especies de alto interés comercial (*N. norvegicus*), con lo que la actividad pesquera en estas zonas es algo mayor. Las consecuencias indirectas de la presión pesquera como la resuspensión del sedimento que provoca un aumento de la turbidez del fondo pueden generar una redistribución de los sedimentos y afectar negativamente a los organismos sésiles tanto en la captación del alimento como en el asentamiento de estos sobre los sustratos duros (Levin *et al.*, 2001). Además, las masas de agua presentan una mayor temperatura y salinidad que en Gazul, lo cual seguramente no propicia el desarrollo de corales de aguas frías o de grandes gorgonias. En comparación con los otros volcanes, Tarsis y, en mayor medida, Anastasya presentan una fuerte actividad pesquera, pero en ellos se da la presencia de hábitats sensibles como son los campos de pennatuláceos (*Sea-pen and burrowing megafauna communities*, OSPAR) donde suelen habitar especies de alto valor económico para la flota arrastrera del GdC (*N. norvegicus*). Al igual que el hábitat 1170, los numerosos campos de pennatuláceos presentes en esta zona podrían aumentar la complejidad estructural de los fondos blandos ofreciendo alimento y sustrato a ciertas

especies (Buhl-Mortensen *et al.*, 2010). Además, en ambos volcanes se han localizado diferentes tipos de comunidades quimiosintéticas asociadas a las emisiones de gases (hábitat 1180), por lo que la pesquería podría estar causando efectos negativos sobre estas comunidades endémicas (Rueda *et al.*, 2012, González-García *et al.*, 2012) y debería restringirse en el futuro Plan de Gestión del LIC.

Agradecimientos

Este estudio es parte de LIFE+INDEMARES y SUBVENT. Agradecemos la ayuda prestada por los científicos participantes en las campañas INDEMARES-CHICA 0610 y 0211, y a los capitanes y tripulación del B/O Emma Bardán y B/O Cornide de Saavedra. A la SGM por los cesión de datos de VMS.

REFERENCIAS

- Buhl-Mortensen, L., Vanreusel, A., Godday, A.J. *et al.*, (2010) Biological structures as a source of habitat heterogeneity and biodiversity on the deep ocean margins. *Marine Ecology* 31, 21-50.
- Carney, R.S. (2005). Zonation of deep biota on continental margins. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 43, 211-278.
- Cunha, M. R., Rodrigues, C. F., Génio, L. *et al.*, (2013) Macrofaunal assemblages from mud volcanoes in the Gulf of Cadiz: abundance, biodiversity and diversity partitioning across spatial scale. *Biogeosciences* (BG), 10 (4). pp. 2553-2568.
- Díaz-del-Río, V., Bruque, G., Fernández-Salas, L.M., *et al.*, (2014). *Volcanes de fango del golfo de Cádiz*. Proyecto LIFE + INDEMARES, Ed. Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 132 pp.
- Fernández-Puga, M.C., Vázquez, J.T., Somoza, L., *et al.*, (2007). Gas related morphologies and diapirism in the Gulf of Cadiz. *Geo-Marine Letters*, 27: 213-221.
- González-García, E., Rueda, J.L., Farias, C. *et al.*, (2012). Comunidades bentónico-demersales en caladeros de los volcanes de fango del Golfo de Cádiz. Caracterización y actividad pesquera. *Rev. Invest. Mar.* 19, 377-380.
- Kaiser, M.J., Collie, J.S., Hall, S.J. *et al.*, (2002). Modification of marine habitats by trawling activities: prognosis and solutions. *Fish and Fisheries*, 23 pp.
- Levin, L.A., Etter R.J., Rex M.A. *et al.*, (2001) Environmental influences on regional deep-sea species diversity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32, 51-93.
- Medialdea, T., Vegas, R., Somoza, L., *et al.*, (2004). Structure and evolution of the "Olistostrome" complex of the Gibraltar Arc in the Gulf of Cadiz (eastern Central Atlantic): evidence from two long seismic cross-sections. *Marine Geology*, 209, 173-198.
- Ramos, F., Sobrino, I. & Jiménez, M.P. (1996). *Cartografía temática de los caladeros de la flota de arrastre en el Golfo de Cádiz*. Informe técnico 45/96. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. 44 pp.
- Rueda, J.L., Urra, J., Gofas, S. *et al.*, (2012). New records of recently described chemosymbiotic bivalves for mud volcanoes within the European waters (Gulf of Cádiz). *Mediterranean Marine Science*. 13(2), 262-267.